

УДК 631.588.5

О РОСТЕ РАСТЕНИЙ В КАМЕРЕ С ПЛОСКИМ СВЕТОВОДОМ

В. М. ЛЕМАН, Н. Н. ТРЕТЬЯКОВ, О. С. ФАНТАЛОВ, О. П. ВЛАСОВА,
Ю. Б. АЙЗЕНБЕРГ, Г. Б. БУХМАН, В. М. ПЯТИГОРСКИЙ

(Кафедра физиологии растений)

В связи с быстрым ростом площадей с растениями, выращиваемыми до плодоношения в помещениях без естественного света (камеры в селекционных центрах, фитотроны, выработанные шахты, теплицы заповарного овощеводства и др.), перед интенсивной светокультурой растений возник ряд новых задач биологического, агрономического и техноэкономического порядка.

Прежде всего необходимо отметить, что плодоносящие сельскохозяйственные растения для достижения нормального роста и формирования плодов требуют значительно большей облученности, чем рассада. У таких растений вегетационный период иногда продолжается до 100 дней, т. е. в 3—4 раза дольше, чем период выращивания овощной рассады или выгоночных растений. Для удовлетворения потребностей растений в фотосинтетически активной радиации (ФАР) приходится значительно увеличивать установочную электрическую мощность облучательных установок и эксплуатировать их более длительное время. В заповарных теплицах при выращивании огурцов зимой она составляет примерно 1—2 кВт/м² [2], а в камерах селекционных центров и фитотронов еще больше. Так, по имеющимся данным [12], около 40% существующих фитотронов используют различные лампы с установочной мощностью 1—2 кВт/м²; 20% — 2—3 кВт/м² и около 30% — от 3 до 5 кВт/м². В отдельных случаях мощность облучательных установок значительно больше — 18,5 и даже 24,0 кВт/м² [8]. Затраты на единицу продукции при этом весьма велики. На получение, например, 1 кг зерна яровой пшеницы расходуется от 1,5 тыс. до 10 тыс. кВт·ч. Естественно, что одной из основных задач светокультуры в камерах без естественного света является снижение энергетических затрат на выращиваемую продукцию без ухудшения ее качества. Попытки добиться этого путем использования электрических ламп с высокой светоотдачей или со спектром излучения, более близким либо к солнечному, либо к кривой фотосинтеза [5], пока не привели к решению проблемы оптимизации светокультуры растений.

Искусственное облучение растений наиболее значительно отличается от естественного солнечного света структурой распределения ФАР в зоне фитоценоза. В природных условиях отдельные растения независимо от размера или формы облучаются практически равномерно, тогда как при всех известных способах искусственного облучения они получают оптическое излучение от ламп сверху. При этом, как правило, наблюдается значительная неравномерность облучения как по площади посева, так и по его высоте. Последнее особенно неблагоприятно сказывается на равномерности роста отдельных растений, их формировании и прохождении ими фенологических фаз. Часто отмечаются перегрев и даже

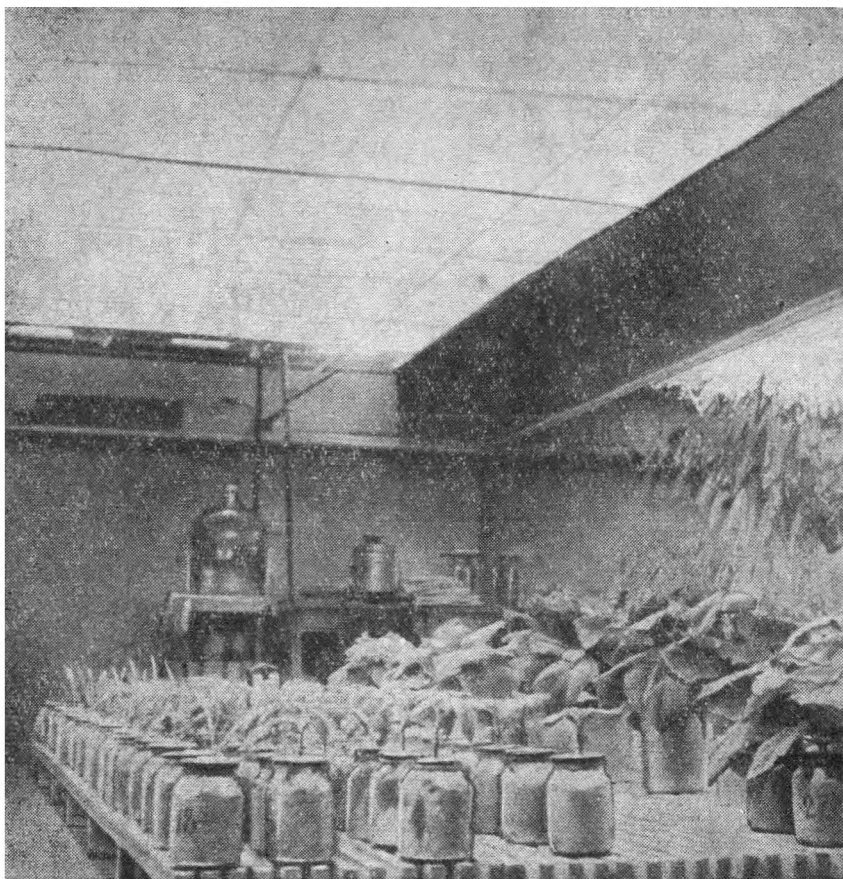


Рис. 1. Облучательная установка с плоским световодом в Лаборатории искусственного климата. Общий вид.

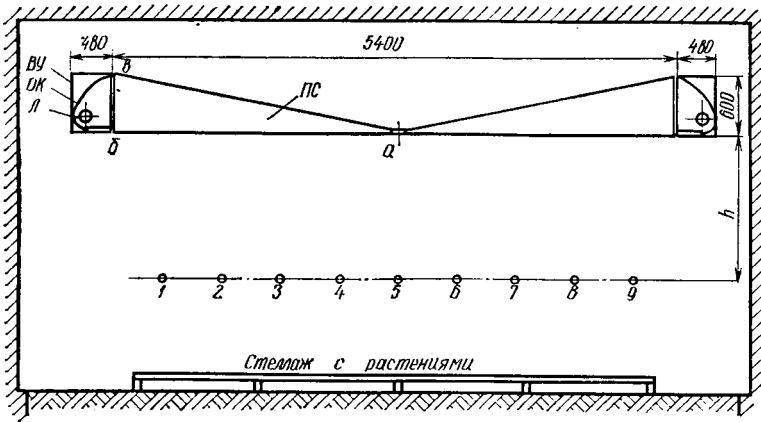
ожоги верхней части растений. Указанные отрицательные последствия возрастают по мере увеличения площадей светокультуры.

В исследованиях, ранее проведенных в лаборатории искусственного климата Тимирязевской академии [5, 6], показано, что наряду с такими параметрами искусственного облучения растений, как интенсивность и его спектральный состав, весьма большое значение в регуляции физиологических процессов растений и в формировании урожая имеет пространственная структура лучистых потоков. Даже двустороннее облучение при равной горизонтальной освещенности от результирующего потока дало значительный положительный эффект. У яровых пшениц (однодольные) увеличилась продуктивная кустистость (почти в 2 раза) и соответственно повысился урожай. Несколько ускорилось наступление фенологических фаз. У подсолнечника, фасоли, томатов (двудольные) отмечалось более правильное формирование растений и значительное увеличение содержания сухого вещества в надземных органах.

Одновременная эксплуатация большого количества ламп в одном помещении не только отрицательно влияет на биологические показатели, но значительно повышает и трудовые затраты, и требования к технике безопасности. Лампы часто затрудняют проведение агрономического ухода за растениями.

Анализ условий объемного облучения растений в природе позволил предположить, что использование плоскостных облучателей при выращивании растений будет более эффективно, чем применение точечных источников облучения.

Разрез по I-I



План

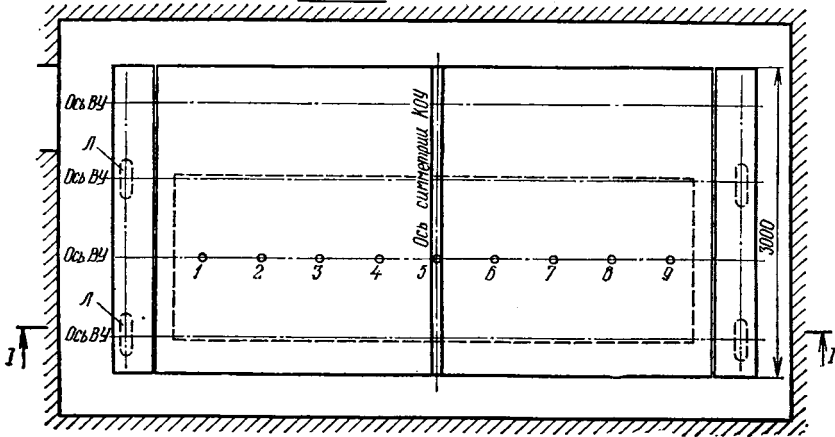


Рис. 2. Схема комплектного облучательного устройства (КОУ) и его размещения в камере лаборатории искусственного климата ТСХА.

Пояснения в тексте.

Все сказанное выше свидетельствует о необходимости создания принципиально нового способа облучения растений и позволяет допустить, что таким способом явится использование плоского световода с небольшим количеством мощных ламп, размещенных в стороне от посева.

Первый макетный образец модуля комплектного облучательного устройства с плоским пленочным световодом (сокращенно КОУ, рис. 1) был исследован в лаборатории искусственного климата ТСХА [1].

Оптическая часть КОУ (рис. 2) состоит из двух симметричных половин, каждая из которых включает в себя вводное устройство ВУ, формирующее концентрированный направленный лучистый поток, и плоский пленочный световод ПС, распределяющий концентрированный лучистый поток над облучаемой площадью. В качестве источника излучения применены металлогалоидные лампы ДРИ-2000, а в качестве концентратора — параболоцилиндрический отражатель ОК. Плоский пленочный световод представляет собой полое тело, образованное двумя основными рабочими плоскостями, расположенными под острым углом друг к другу (в виде плоского клина). Нижняя горизонтальная плоскость а, б из-

Таблица 1

Горизонтальная освещенность (клк) в зоне растений, измеренная в 9 точках вдоль оптической оси вводного устройства на разных расстояниях (h) от светорассеивающей плоскости при работе четырех ламп ДРИ-2000

h , м	Точки измерений*									Средняя
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0,1	10,8	11,8	10,2	10,8	9,9	9,3	9,3	10,2	10,4	10,3
0,6	9,6	9,3	9,8	9,9	9,8	10,1	9,9	9,8	10,1	9,8
1,1	8,7	8,7	9,0	9,3	9,4	9,3	9,4	9,1	9,3	9,1
1,6	7,9	7,9	8,4	8,2	8,2	8,5	8,5	8,4	8,5	8,3

* См. рис. 1.

готовлена из светорассеивающей пленки, верхняя наклонная плоскость a , b — из светоотражающей. Светоотражающей пленкой затянуты и боковые вертикальные плоскости световода a , b , c . Торцевая вертикальная плоскость b , c , расположенная против вершины клина, выполнена из прозрачной пленки. Она служит иллюминатором, с которым состыковано вводное устройство. Концентрированный лучистый поток, формирующийся в ВУ и вводимый в горизонтальном направлении через иллюминатор в световод, отражается от всей поверхности наклонной зеркальной плоскости на горизонтальную светорассеивающую плоскость. Пропуская световой поток, светорассеивающая плоскость образует под световодом поток диффузного излучения, который, как показали инструментальные исследования, по своей структуре подобен излучению небесного свода. Некоторые данные измерений освещенности под световодом на различных расстояниях h от его светорассеивающей плоскости приведены в табл. 1. Для каждого расстояния h горизонтальная освещенность измерялась в девяти точках, расположенных вдоль оптической оси вводного устройства.

Измерения показали наличие следующих зависимостей, характерных для диффузного излучения:

1. Высокое значение коэффициента равномерности облучения (отношение минимальной освещенности к максимальной; в идеальном случае оно равно единице): на расстоянии 0,1 м от светорассеивающей плоскости световода — 0,79, а при 1,6 м — 0,93.

2. Незначительное убывание средней горизонтальной освещенности по мере удаления от светорассеивающей плоскости световода. При изменении h от 0,1 до 0,6 м оно составляет 0,5 клк, от 0,6 до 1,1 м — 0,7 клк, от 1,1 до 1,6 м — 0,8 клк. Общая величина снижения освещенности при увеличении h от 0,1 до 1,6 м составляет 2 клк, т. е. при увеличении расстояния от световода в 16 раз освещенность уменьшается всего на 19%.

Это позволяет сделать важный практический вывод, что по мере роста растений под плоским световодом параметры и структура светового поля в пределах облучаемой площади и в довольно широком интервале высот изменяются незначительно.

В вегетационном опыте под световодом мы изучали реакцию ряда сельскохозяйственных культур на излучение, получаемое с помощью световода.

Методика и объекты выращивания

Все опытные растения — подсолнечник, кукурузу, пшеницу, томаты, огурцы — выращивали в стеклянных сосудах небольшого (1—3 л) объема методом водной культуры на питательной смеси Кнопа, concentra-

цию которой постепенно, по мере роста растений, повышали от 0,1 до нормальной. Состояние растений оценивали на основании морфологических, фенологических и некоторых анатомо-физиологических показателей (масса единицы листовой поверхности, мг/дм²; динамика накопления органического вещества, мг/сут; динамика образования хлорофиллов и каротиноидов), сравнивая их с соответствующими показателями растений, выращенных методом обычной интенсивной светокультуры в селекционных центрах и в фитотронах (огурцы, томаты, пшеница), а в отдельных случаях — растений, выращенных в полевых условиях в Черноземной зоне (кукуруза, подсолнечник).

Условия при выращивании растений были следующими: температура воздуха днем 23—26°, ночью 20—22°; относительная влажность воздуха (в среднем) — днем 35—50%, ночью 50—65%. Продолжительность светлого периода суток 16 ч. Данные об интенсивности облучения на уровне растений представлены в табл. 1.

Результаты

Кукуруза Днепровская 247 МВ дала всходы в середине ноября. Высота созревших растений с 14 листьями колебалась от 160 до 240 см, т. е. была почти такой, как при выращивании в поле [9]. Восковая спе-

Т а б л и ц а 2

Рост пшеницы яровой под плоским световодом

Сорт	Восковая спелость, дни	Высота растений, см	Длина колоса, см	Число продуктивных боковых побегов	Урожай зерна с 1 растения, г	Масса 1000 зерен, г
Канада СВ-151	70	26,5	5,9	1,9	1,60	25,5
Верлд сидз 1812	75	63,5	7,6	1,7	2,92	34,1

лость отмечена через 88 дней, уборка произведена через 106 дней после всходов. Масса 1000 зерен колебалась от 300 до 340 г. Всхожесть полученного зерна через месяц после его уборки равнялась 93,3%. Размер початка был невелик — от 17 до 25 см, что, видимо, объясняется лимитированным корневым питанием.

У подсолнечника сорта Саратовский 10 цветение наступило через 59 дней, восковая спелость — через 90 дней, уборка проведена через 108 дней. Высота созревших растений — 116—126 см с 30 темно-зелены-



Рис. 3. Рассада огурцов (слева) и томатов, выращенная под плоским световодом.

Развитие огурцов и томатов под плоским световодом и ЛДЦ

Продолжительность выращивания, дни	Число листьев	Высота растений, см	Подсемядольное колено		Площадь листьев, дм ²	Масса надземной части, г		Масса высека листа, г/дм ²	Накопление органического вещества, г/сут
			длина, см	диаметр, мм		сырой	сухой		
Огурцы сорта Марфинские под световодом									
13	3	4,60	2,87	5,14	2,47	7,44	0,72	2,33	0,57
15	4	5,89	3,01	6,43	4,14	12,87	1,21	2,27	0,85
18	6	9,12	3,17	7,55	6,79	20,59	1,84	2,14	1,03
23	6,5	14,0	4,40	7,46	8,88	30,68	2,58	2,14	1,33
Контроль (ЛДЦ)									
23	6	8,6	4,00	6,03	4,80	15,19	1,25	2,17	0,66
Томаты сорта Пушкинский 1583 под световодом									
32	9,5	26,22	3,67	7,09	6,10	34,50	3,39	3,82	1,01
Контроль (ЛДЦ)									
32	9,0	25,80	2,50	6,80	5,12	26,80	2,49	3,51	0,84

ми листьями, диаметр корзинки — 12—13 см, масса 1000 зерен — 69 г, содержание масла в ядре — 60,94%, т. е. растения, выращенные под световодом, почти не отличались от полевых [8].

При выращивании пшеницы яровой (табл. 2) в этих условиях затраты электроэнергии на 1 кг зерна составили по предварительным расчетам 500—700 кВт·ч, т. е. были значительно меньше, чем при выращивании под лампами различных типов (ДРЛФ, ДКСТВ, ЛН), расположенными над растениями.

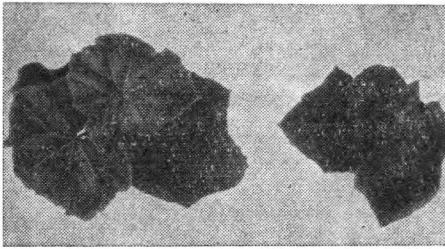


Рис. 4. Рассада огурцов, выращенная под световодом (слева) и под люминесцентными лампами.

Огурцы Марфинские, как видно из табл. 3, уже на 13-й день образовали по 3 настоящих листа, на 15-й — 4, а на 18-й — 6, т. е. рассада сформировалась полностью (рис. 3). Листья 18-дневных растений имели достаточное количество пигментов. Сумма хлорофиллов (a+b) составляла 6,12 мг/дм². Однообразные 23-дневные растения, выращенные в камере под рамой с люминесцентными лампами марки ЛДЦ-30 при установочной мощности 740 Вт/м², по всем показателям значительно отставали от культивируемых под световодом (табл. 3, рис. 4). Часть растений была ликвидирована на стадии рассады, часть оставлена в прежних условиях под световодом. У них цветение наступило на 32-й день после всходов, плодоношение — на 50-й день. В Нечерноземной зоне в теплицах первые плоды весной снимают на 40—60-й день после всходов.

Томаты сорта Пушкинский 1583 к 32-дневному возрасту, как и огурцы, значительно превосходили контрольные, выращенные под люминесцентными лампами (табл. 3, рис. 4). Первая цветочная кисть у готовой рассады появилась под световодом на 18-й день выращивания в пазухе 7-го листа, вторая — на 21-й в пазухе 8-го и третья — на 30-й день в па-

зухе 9—10-го листьев, после чего верхушки растений были прищипнуты. Цветение первой кисти началось на 28-й день после всходов, второй — на 32-й, третьей — на 36-й день. Уборку красных плодов провели на 75-й день. Окраска листьев была темно-зеленая. Среднее содержание хлорофилла — 7,0 мг/дм², каротиноидов — 1,6 мг/дм².

Затраты на выращивание овощной рассады составляли в расчете на одно растение у огурцов около 1 кВт·ч, у томатов — около 2 кВт·ч.

Прежде чем сделать общее заключение, необходимо отметить, что при выращивании в камере с плоским световодом крупных плодноносных растений — кукурузы, подсолнечника, огурцов и томатов — в сосудах ограничивалось развитие корневой системы и это, видимо, в значительной мере лимитировало получение возможного высокого урожая. Другими неблагоприятными факторами для плодоношения отдельных культур, особенно огурцов, в данном опыте являлись низкая относительная влажность воздуха и постоянное быстрое его движение, необходимое для понижения температуры в помещении, не приспособленном специально для выращивания растений. Можно с уверенностью утверждать, что при исключении указанных неблагоприятных факторов созданный с помощью плоского световода режим облучения позволит значительно повысить хозяйственный урожай.

Заключение

Приведенные выше данные о состоянии растений показывают, что оно вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемым к состоянию растений при их выращивании в фитотронах, селекционных центрах, лабораториях искусственного климата, а также в промышленных овощеводческих теплицах в зимние месяцы.

Несмотря на очень небольшую для камер без естественного света установочную электрическую мощность и соответственно относительно невысокую облученность, все испытанные растения по размеру, форме, окраске и прохождению фенологических фаз не уступали выращенным под современными электрическими лампами различных типов, применяемыми в мировой практике светокультуры растений, с более высокой установочной мощностью. Основным фактором, позволявшим добиться высоких результатов, является объемное и равномерное облучение растений, имитирующее световые условия в поле летом.

Плоский световод в камере без естественного освещения в качестве оптической системы распределения лучистого потока мощных ламп значительно превосходит по эффективности все способы освещения, применяемые при интенсивной светокультуре растений. При использовании плоского световода создается равномерное объемное облучение по всей зоне фитоценоза. При этом полностью снимается нагрев зоны растений конвективным теплом ламп независимо от интенсивности облучения. Значительно сокращаются энергетические затраты на единицу биологической или сельскохозяйственной продукции. Даже при относительно малой установочной мощности объемное облучение позволяет вырастить различные сельскохозяйственные культуры (пшеница, кукуруза, подсолнечник, огурцы, томаты и др.), практически не отличающиеся по размерам, форме, окраске и прохождению фенологических фаз от растений, выращиваемых при естественном освещении. Большая удаленность световода от растений обеспечивает свободный доступ к ним людей и механизмов для проведения агротехнического ухода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенберг Ю. Б., Бухман Г. Б., Леман В. М., Пятигорский В. М., Фанталов О. С. Осветительная установка с плоским световодом для выра-

щивания сельскохозяйственных культур в помещениях без естественного света. «Светотехника», 1978, № 5, с. 14—17. — 2. Аршавская Л. А. Влияние облуче-

ния лампами ДКСТВ-6000 на продуктивность огурцов. В кн.: Применение оптического излучения в животноводстве и растениеводстве. Москва — Орджоникидзе, ВИЭСХ, 1976, с. 100—101. — 3. Жилинский Ю. М., Свентицкий И. И. Электрическое освещение и облучение в с.-х. производстве. М., «Колос», 1968. — 4. Клешнин А. Ф. Растение и свет. М., Изд-во АН СССР, 1954. — 5. Леман В. М. Курс светокультуры растений. М., «Высшая школа», 1976. — 6. Леман В. М. Современная светокультура сельскохозяйственных растений в СССР. «Изв. ТСХА», 1977, вып. 6, с. 71—86. — 7. Майсурян Н. А., Степанов В. Н., Кузнецов В. С., Лукьянюк В. И., Черномаз П. А. Растениеводство. М., «Колос», 1965. — 8. Полон-

ский В. И., Лисовский Г. М., Трубачев Н. Н. Продуктивность и биохимический состав пшеницы при высокой интенсивности ФАР в светокультуре. «Физиология растений», 1977, т. 21, вып. 4, с. 718—721. — 9. Третьяков Н. Н. Кукуруза в нечерноземной полосе. М., «Колос», 1974. — 10. Фанталов О. С., Леман В. М. Ксеноновые лампы в теплицах и камерах. «Вестн. с.-х. науки», 1976, № 4, с. 119—122. — 11. Bickford E. D., Dunn S. Lighting for Plant Growth. Kent, 1972. — 12. Bilderling N. de. Leclaire des plante dans Les Phytotrons. Всемирный электротехнический конгресс. М., Информэлектро, 1977, секция 4А, доклад 62, с. 1—16.

Статья поступила 23 мая 1978 г.

SUMMARY

If a plane light guide is used as an optic distributive system of radiant flux of powerful lamps in a chamber without natural light, a uniform volume irradiation over the whole phytocenosis zone is created. The plant zone is not heated by convective heat irrespective of the intensity of radiation. Expenses of power per unit of biological or agricultural produce are considerably reduced. Even with relatively small installation capacity, volume irradiation allows to grow different farm crops (wheat, corn, sunflower, cucumbers, tomatoes, etc.) which practically do not differ in size, shape, colour and passing over phenological phases from the plants grown under natural light. As the light guide is rather far from the plants people and devices can easily approach them to perform agrotechnical care.